

TÍTULO:
PILEDYN

AUTORES:

LUIS ALBERTO PADRÓN HERNÁNDEZ

JUAN JOSÉ AZNÁREZ GONZÁLEZ

ORLANDO FRANCISCO MAESO FORTUNY

CRISTINA MEDINA LÓPEZ

JACOB DAVID RODRÍGUEZ BORDÓN

MARÍA CASTRO FERNÁNDEZ

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS Y ESTRUCTURAS

**INSTITUTO DE SISTEMAS INTELIGENTES Y APLICACIONES NUMÉRICAS
EN INGENIERÍA**

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Introducción

La división de Mecánica de los Medios Continuos y Estructuras (MMCE) del Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en la Ingeniería (IUSIANI) de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) es un grupo de investigación que trabaja en el campo de la dinámica de estructuras, generando modelos numéricos con los que simular el comportamiento de estructuras frente a cargas dinámicas.

Este programa, PILEDYN, surge del deseo de dar a conocer y distribuir parte de la investigación del grupo, así como generar un programa de cálculo para la respuesta dinámica de cimentaciones pilotadas. Mas concretamente, se trata de un software de cálculo destinado a obtener las curvas de impedancia dinámica -en el dominio de la frecuencia- de cimentaciones que consisten en un pilote o en un grupo de pilotes. Toda la formulación del modelo, su implementación en un código de ordenador y su validación numérica ha sido desarrollada en el seno del grupo a lo largo de varios años, y en esta tarea han colaborado un buen número de investigadores a lo largo de su desarrollo.

Las características más importantes de PILEDYN son precisamente su especificidad y sencillez: es una herramienta flexible, que se adapta al usuario; pionera, en cuanto a que no existen alternativas dedicadas tan específicamente a la interacción suelo-estructura de grupos de pilotes, y fácil de usar.

Dicha tarea, además, se lleva a cabo como uno de los objetivos comprometidos en el del Proyecto de Investigación “Avances en el desarrollo de modelos numéricos para la caracterización dinámica de cimentaciones para aerogeneradores” (BIA2014-57640-R), financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).



UNIÓN EUROPEA
**Fondo Europeo de
Desarrollo Regional (FEDER)**
Una manera de hacer Europa



**MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD**

Objetivo y justificación

Actualmente existen programas de cálculo de estructuras ampliamente conocidos que permiten el análisis de tipologías diversas. Muchos incluyen el cálculo de la cimentación, siempre de acuerdo con la normativa vigente. Sin embargo, también suelen requerir muchos recursos computacionales, así como licencia de uso con coste variable según el caso.

Por ello, PILEDYN se diseña como alternativa a dichos programas comerciales, cuyo objetivo es el de facilitar una herramienta sencilla e intuitiva para el usuario y que permita un cálculo rápido de las principales variables dinámicas que caracterizan el comportamiento dinámico de un pilote o grupo de pilotes.

Está enfocado a usuarios familiarizados con la dinámica de estructuras, quienes podrán sacar un mayor partido de las funcionalidades ofrecidas; pero también está dirigido a todo aquel que, teniendo conocimientos técnicos previos (Resistencia de materiales, cálculo matricial, etc.), desee adentrarse en el campo de la dinámica estructural y que esto pueda hacerlo de forma pedagógica, sencilla, cómoda y amena.

Así pues, dicha herramienta permite la resolución de problemas de interés para la comunidad científica especializada en el ámbito; haciendo posible un planteamiento más intuitivo de dichos problemas y más accesible para profesionales no especializados. Por tanto, PILEDYN está pensado para tener uso especialmente en el sector académico, pero también en el sector de la ingeniería de construcción o de estructuras. Es conocida la gran influencia de los efectos dinámicos en determinadas combinaciones de cimentación, suelo y carga; por lo que disponer de software específico puede hacer más efectiva la labor de proyectistas usuarios, entre otros.

Estructura y funcionamiento del programa

El programa está compuesto por tres partes bien diferenciadas: preprocesador (Módulo 1), procesador o "solver" (Módulo 2) y posprocesador (Módulo 3), siendo el módulo de cálculo el núcleo del programa. Los módulos de pre y posprocesado son elementos de alto nivel destinados a facilitar la entrada y salida de datos del solver. Éstos funcionan de manera independiente entre sí, lo que permite utilizar sólo uno de ellos en caso de ser necesario.

En cuanto al funcionamiento, el solver usa de forma combinada el Método de los Elementos Finitos (MEF) y el Método de los Elementos de Contorno (MEC) para el cálculo de la respuesta del pilote o grupo de pilotes. Por ello, se tienen los beneficios de ambas metodologías, sintetizando cada pilote en elementos finitos unidimensionales y discretizando la estratigrafía con elementos de superficie. El resultado se puede apreciar en la Figura 1.

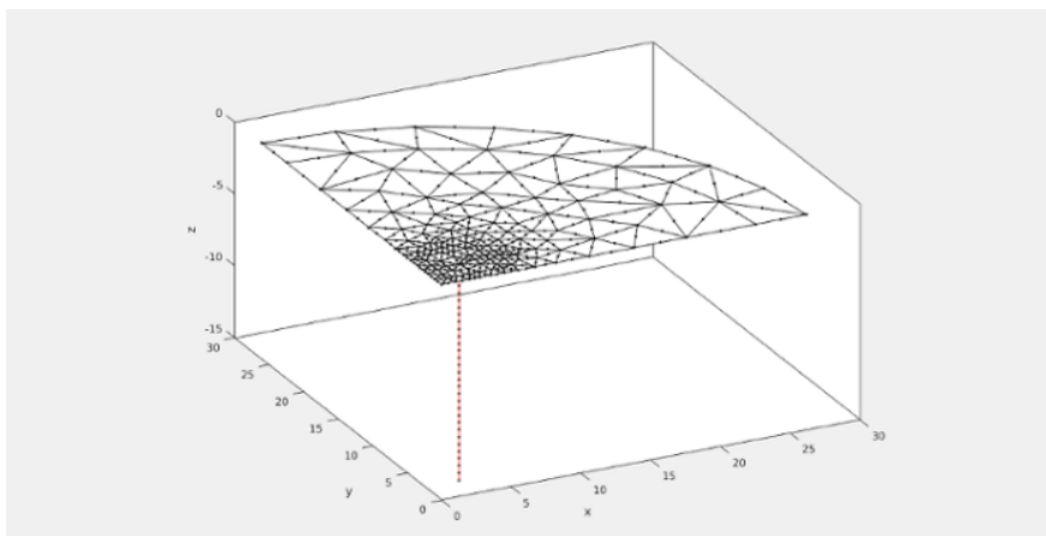


Figura 1: Ejemplo de discretización de suelo y pilote en forma de malla para un grupo 2x2, aplicando simetría en dos planos.

De ésta manera, lo que se hace es generar las ecuaciones del terreno, las de los pilotes, así como ecuaciones de ensamblaje, para después obtener un sistema de ecuaciones. La resolución de este sistema de ecuaciones permite obtener los desplazamientos y esfuerzos que sufre el pilote en el problema estudiado (Véase el diagrama de flujo de la Módulo 2).

Los módulos de pre y posprocesado, como se menciona previamente, preparan la introducción y facilitan la lectura de los datos de entrada y salida del solver. El pre-procesador, concretamente, toma los datos del problema, genera o lee una malla ya creada y escribe el fichero de entrada del solver (Véase el diagrama de flujo de la Módulo 1). Para ello, se sirve de dos malladores: MESH2D y Gmsh. El posprocesador, en cambio, toma el fichero de salida de solver y procesa los resultados para graficarlos y reescribirlos en un nuevo fichero, con un formato cómodo y sencillo de interpretar por el usuario (Véase el diagrama de flujo de la Módulo 3).

Con todo, y para facilitar el manejo de datos y ficheros, PILEDYN se ha elaborado para ejecutar desde la interfaz gráfica y desde línea de comandos. En la figura 2 se muestra el aspecto de la interfaz.

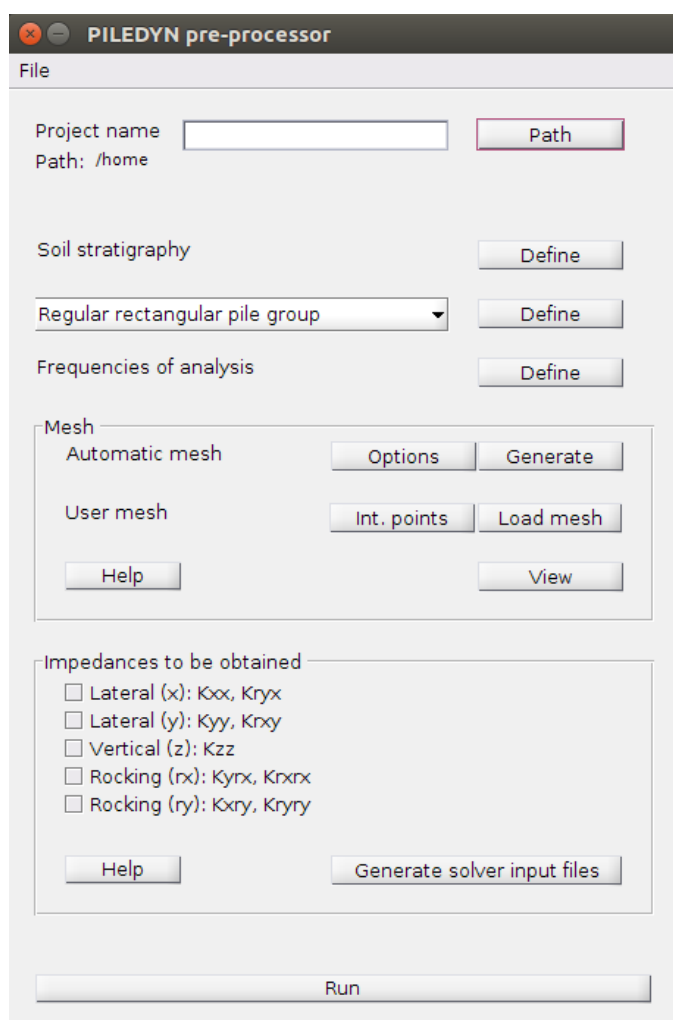


Figura 2: Interfaz del módulo 1 (pre-procesador).

Lenguaje de programación y entorno operativo

El módulo de cálculo de PILEDYN está escrito en lenguaje FORTRAN, mientras que en los módulos de pre y posprocesado se utiliza MatLab. Ambos lenguajes son ampliamente usados en ingeniería, MatLab en general y FORTRAN en el campo de ingeniería de estructuras (entre otros), y se pueden usar en los principales sistemas operativos. Además, PILEDYN está disponible tanto para el entorno Windows como Linux.

Dependencias e instalación

Sin embargo, precisamente por estar elaborado con MatLab, el uso de los módulos de pre y posprocesado requiere tener instalado MatLab o algún otro programa que entienda su sintaxis. Si bien las alternativas existentes son Octave, Scilab, Freemat y Spyder, sólo se asegura el correcto funcionamiento de los módulos de pre y posprocesado en Octave.

Por otro lado, sólo es posible ejecutar el programa desde interfaz gráfica con Matlab. En la misma línea, está la dependencia con Gmsh: se debe tener previamente instalado para poder usarlo como mallador cuando se ejecute el preprocesador.

Listado de ficheros

Siguiendo con la estructura en 3 módulos del programa, los ficheros de cada una de ellas son:

Módulo 1: Pre-Procesador

PILEDYN_preGUI.m	MainFILE.m	WriteFrequenciesFile.m
PILEDYN_preFILE.m	Main.m	WriteInputDataFiles.m
Configuration.fig	MeshOptions.m	WriteMeshFile.m
Frequencies.fig	msh_Gmsh_S4.m	WriteMeshOptionsFile.m
Main.fig	msh_MESH2D.m	WritePileConfigurationFile.m
MeshOptions.fig	msh_piles.m	WriteSoilStratigraphyFile.m
SoilStratigraphy.fig	msh_UserMesh.m	Mesh3.png
ImpedancesHelp.html	PlotMesh.m	Modo_rx.png
MeshFormat.html	OUT_BEMFEMfile.m	Modo_ry.png
CalculateRAM.m	ReadFrequenciesFile.m	Modo_x.png
CheckMesh.m	ReadInputDataFiles.m	Modo_y.png
CheckNumericEdit.m	ReadPileConfigurationFile.m	Modo_z.png
Configuration.m	ReadSoilStratigraphyFile.m	quadrilateral_element_BF.png
Frequencies.m	SoilStratigraphy.m	quadrilateral_element.png
GenerateOneQuarterMesh_2D.m	SubdivideLine2.m	triangular_element.png
GenerateOneQuarterMesh_3D.m	TransformToQuadratic.m	

Módulo 2: Procesador

PILEDYN_solver	extelldp.f	matrizq.f
Makefile	extin.f	modamort.f
Doxyfile	factoramort_superstructure.f	nonda.f
assemble_cp.f	freeterm1.f	obtener_colocacion.f
assemble.f	fundex_partes.f	obtenerff.f
assemble_gsp.f	intufi_ext.f	obtenerg.f
assemble_ipa_condensar.f	intufi_int.f	obtenerpi.f
assemble_ipa.f	intuxi_bottom.f	obtenerqeqv.f
assemble_ipb.f	inversa.f	output_s.f
assemble_kmp.f	inv.f	PILEDYN_solver.f
assemble_kp.f	kpier_to_refpile.f	pldl2pgdg.f
assemble_phi_2.f	ldt_times_vector.f	rayvel.f
assemble_phi_3.f	locin1te.f	reaccionencabeza.f
assemble_phi.f	locin.f	resol_dp.f
assemble_q.f	lqt_times_vector.f	rigidez.f
assemble_q.f.f	mapeonew_s.f	rotatematrix.f
assemble_ui.f	fundlo.f	rotatematrixq.f
calc_tlibre_ela.f	help.fidentidadf.f	sfbiesf.f
calc_tlibre_pot.f	incurcua1.f	sfnosing.f
cal_npg.f	incurcua.f	sfpotbi.f
c_etaxja.f	incurtri1.f	sfpot.f
cierredp.f	incurtri.f	sfsing.f
cl_input.f	input_s.f	simetria_enc_edif.f
computetransformationmatrix.f	instrato_s_ang.f	simetria.f
contdistan.f	instrato_s.f	simetria_p_encepados.f
coord.f	instrato_s_punta.f	simetria_p.f
dtrigfund.f	matrizk.f	sistema_s.f
eledistan.f	matrizm.f	stcomun_s.f
equilibrio_encepado.f	matrizmpa.f	telles_jcf.f
equilibrio_encepado_pilares.f	matrizmpb.f	t_etaxja.f
esfuerzos.f	matrizmppa.f	tlibredp.f
etanodo.f	matrizmppb.f	triloc1.f
etaxjdp.f	matriz_pilar.f	triloc.f
vec_cont_elem.f	vector_datos.f	

Módulo 3: Pos-Procesador

PILEDYN_pos.m

Diagramas de flujo

Como se ha indicado previamente, PILEDYN opera con 3 módulos correspondientes a la fase de preprocesado, procesamiento de los datos propiamente dicho y de posprocesado. Se muestran a continuación en las figuras 3, 4, 5 y 6:

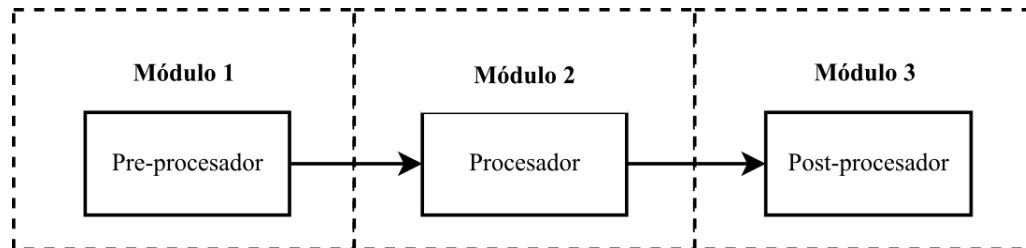


Figura 3: Diagrama de flujo global de PILEDYN.

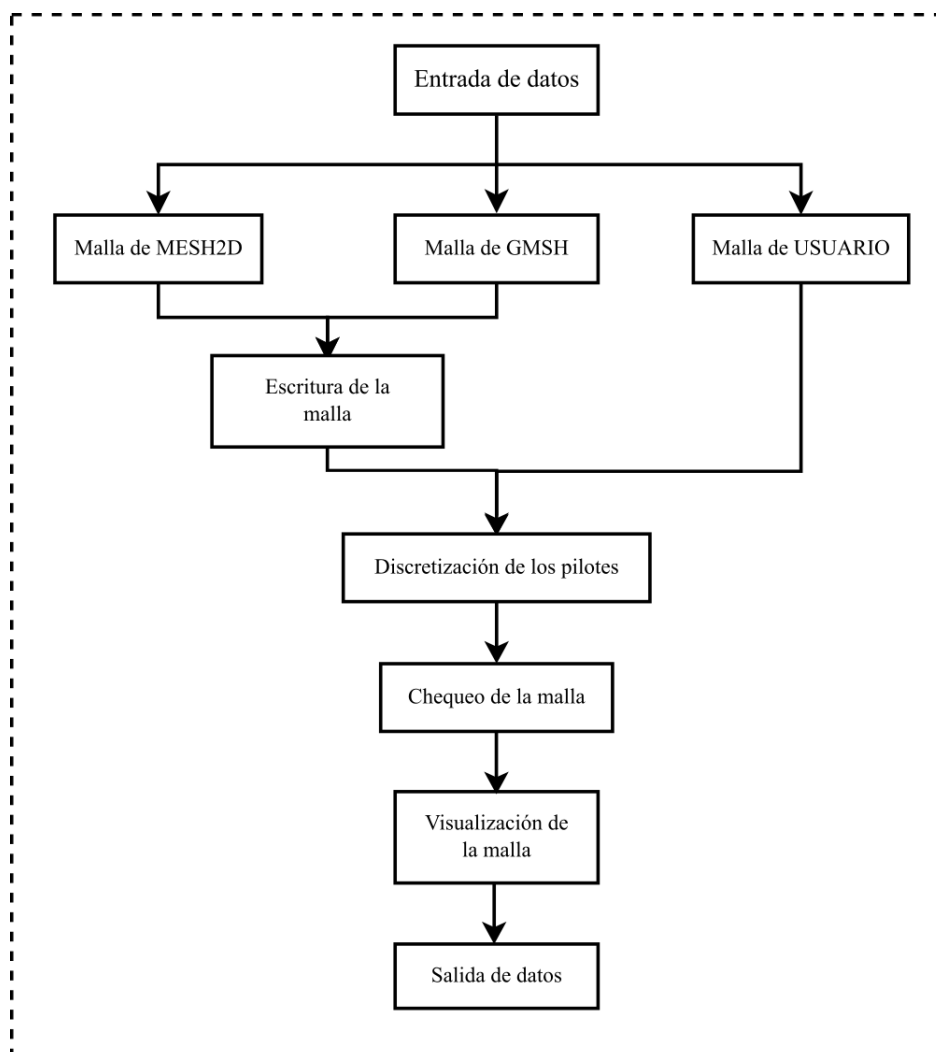


Figura 4: Diagrama de flujo del módulo 1 (preprocesado).

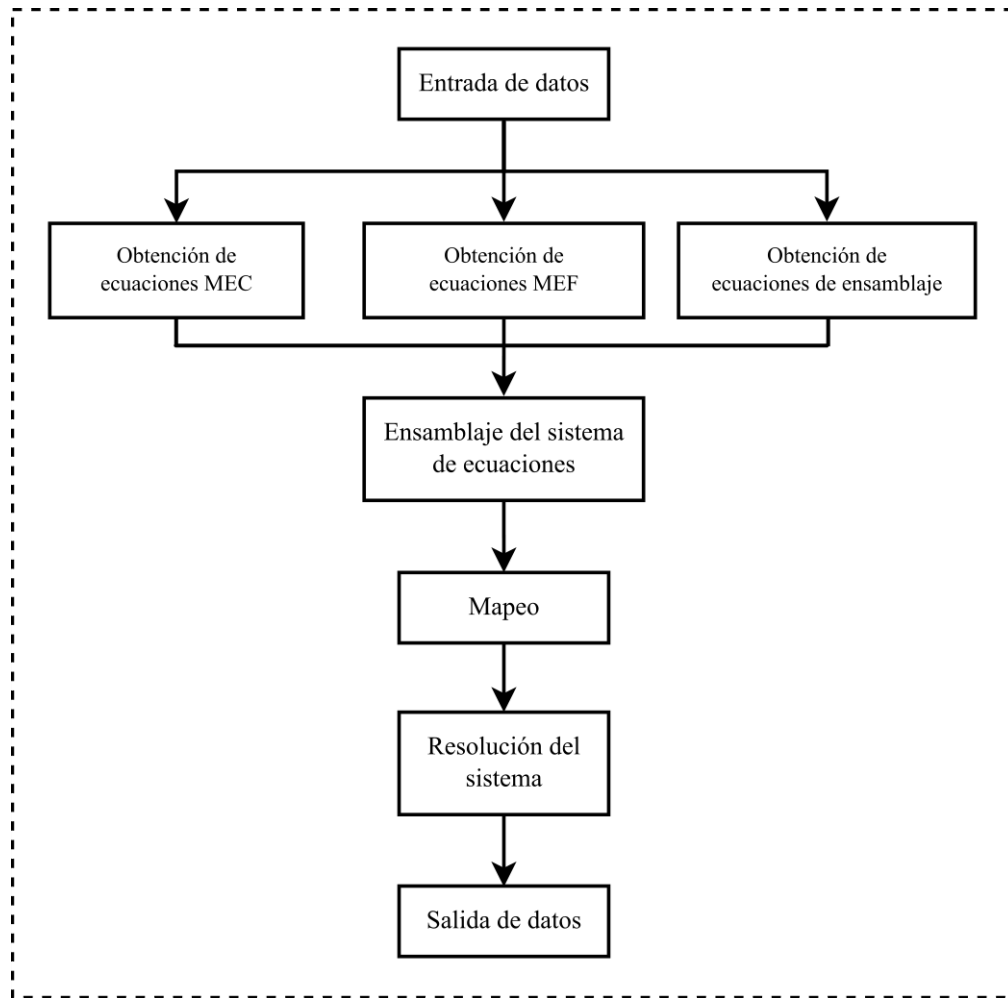


Figura 5: Diagrama de flujo del módulo 2 (cálculo).

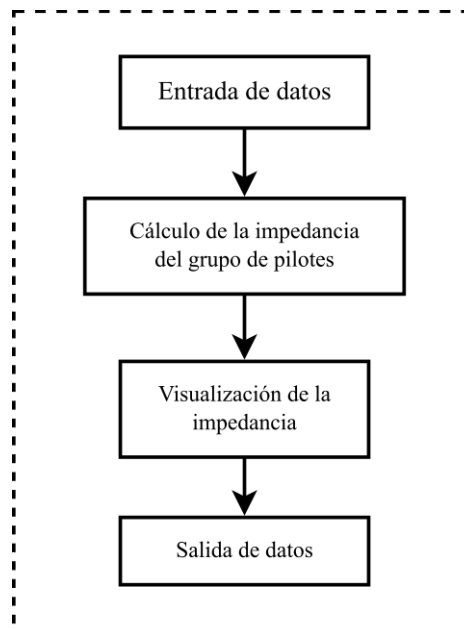


Figura 6: Diagrama de flujo del módulo 3 (posprocesado).

ANEXO I: Instalación del programa

A continuación se indican los requisitos previos y los pasos a seguir para instalar PILEDYN:

Requisitos previos

Por cómo es la estructura del programa es necesario que su equipo tenga instalados los siguientes programas:

- **Matlab, Octave**

Precisamente por estar elaborado con MatLab, el uso de los módulos de pre y posprocesado requiere tener instalado MatLab o algún otro programa que entienda su sintaxis.

Si bien las alternativas existentes son Octave, Scilab, Freemat y Spyder, sólo se asegura el correcto funcionamiento de los módulos de pre y posprocesado en Octave. Por otro lado, sólo es posible ejecutar el programa desde interfaz gráfica con Matlab.

- **Compilador de FORTRAN**

Windows

1. Vaya a la página de descargas del programa (<https://www.mingw-w64.org/doku.php>) y tras picar en "Downloads", pique en "Mingw-W64-builds" (Figura 7 y 8).
2. Ahora, pique en "Sourceforce" (Figura 9). Se iniciará la descarga.
3. Espere a que finalice la descarga e instale (Figura 10). NOTA: Tenga cuidado con las opciones de instalación (Figura 11). Marque la opción "x86_64" en el desplegable "Architecture" (en segundo lugar empezando desde arriba).

Unix

1. Abra un terminal y ejecute el comando para instalar el compilador (ifort o gfortran), como se muestra en la figura 12.
2. Introduzca su contraseña de usuario (el comando "sudo" necesita derechos de administrador).
3. Espere a que termine la descarga, y ¡listo!

- **Gmsh [Opcional]**

Se debe tener previamente instalado para poder usarlo como mallador cuando se ejecute el preprocesador. La página web del programa es "<http://gmsh.info/>". En ella podrá descargar el instalador adecuado para su sistema operativo.

- **MESH2D [Opcional]**

Lo mismo que sucede con Gmsh: se debe tener previamente instalado MESH2D para poder usarlo como mallador cuando se ejecute el preprocesador. Podrá descargarse el mallador en la página "<https://github.com/dengwirda/mesh2d>".

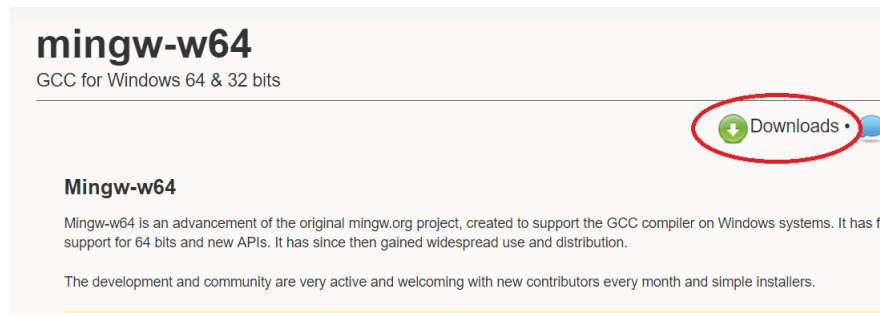


Figura 7: Página de descargade MinGW.

	Version	Host	GCC / Mingw-w64 Version	L
Arch Linux	Arch Linux		7.1.1/5.0.2	A
Cygwin	Rolling	Windows	5.4.0/5.0.2	A
Debian	Debian 7 (Wheezy)		4.6.3/2.0.3	
	Debian 8 (Jessie)		4.9.1/3.2.0	A
	Debian 9 (Stretch)		6.2.1/5.0.0	C
Fedora	Fedora 19		4.8.1/?	A
MacPorts	Rolling	macOS	7.2.0/5.0.3	C
MingW-W64-builds	Rolling	Windows	7.2.0/5.0.3	C
Msys2	Rolling	Windows	7.2.0/trunk	A
	12 04 Precise Pannolin		4 6 3/2 0 1	

Figura 8: Oferta de paquetes disponibles, entre los que se encuentra MinGW.

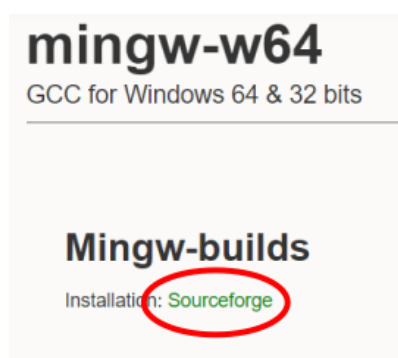


Figura 9: Descarga del ejecutable.



Figura 10: Pantalla de inicio del proceso de instalación.

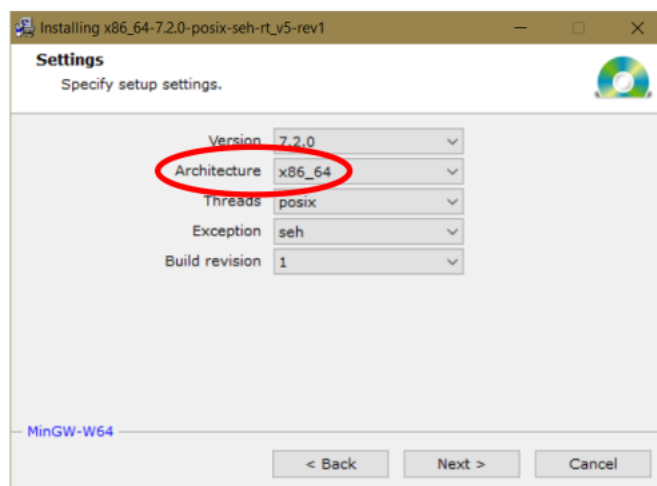


Figura 11: Opciones de instalación.

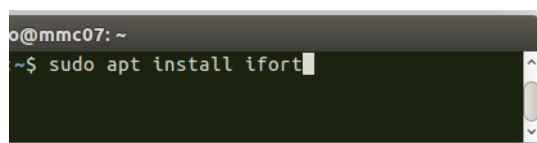


Figura 12: Comando para instalar ifort.

Proceso de instalación

A continuación se indica el procedimiento para instalar PILEDYN, según qué sistema operativo se use:

Windows

1. Abra un terminal. Para ello, vaya a la carpeta de MinGW y haga doble click en "mingw-w64" (o "mingw-w32", si es el caso).
2. Cambie a la carpeta de "src_solver" e instale el código (Figura 14), usando el comando "mingw32-make.exe -f MakefileMinGW". Espere a que termine el proceso.
3. Ahora, copie el ejecutable "PILEDYN_solver.exe", que se ha generado dentro de la carpeta "src_solver", y cópielo fuera en "PILEDYN".
4. ¡Listo! Ya puede empezar a usar el programa.

Unix

1. Abra un terminal. Para ello, pulse "cntrl + T" o haga clic derecho y seleccione "Abrir Terminal". Nótese que se abrirá el terminal en la carpeta donde haya hecho esto.
2. Cambie al directorio "src_solver", dentro de PILEDYN, si no está ya en ese directorio. Ejecute el comando "make -f Makefile". Espere a que termine de compilar (Figura 15).
Si ya ha compilado previamente, pero quiere compilar de nuevo, ejecute el comando "make clean" y luego, "make -f Makefile" (Figura 16).
NOTA: El compilador usado por defecto es gfortran. En caso de querer usar ifort, haga el siguiente cambio en el fichero "Makefile": en lugar de "FC=gfortran", escriba "FC=ifort" y guarde.
3. Ahora, copie el ejecutable "piledyn_solver", que se ha generado dentro de la carpeta "src_solver", y cópielo fuera en "PILEDYN".
4. ¡Listo! Ya puede empezar a usar el programa.

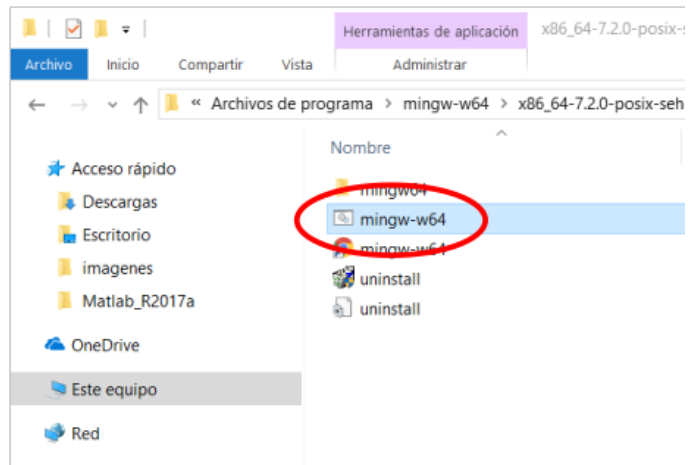


Figura 13: Localización de terminal MinGW, para compilar en entorno Windows.

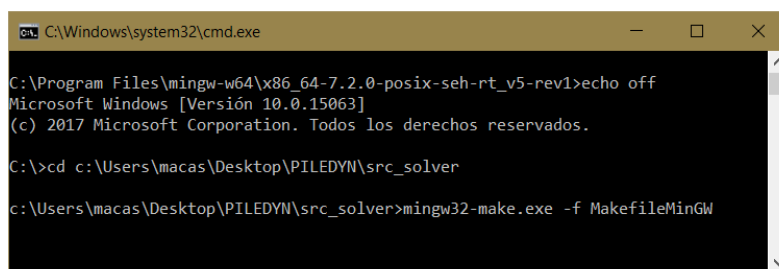


Figura 14: Comando para instalar "PILELYN_solver" (entorno Windows).

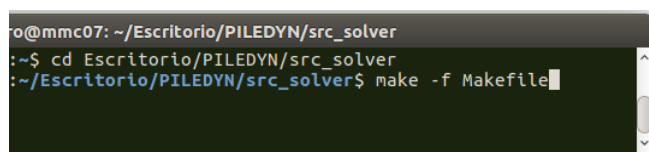


Figura 15: Comando para instalar "PILELYN_solver" (entorno Unix).

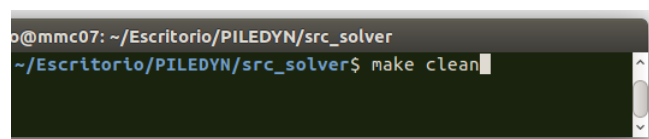


Figura 16: Comando para limpiar el directorio después de un intento de instalación.